

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi listrik di Indonesia terus meningkat seiring pertumbuhan ekonomi dan populasi. Sektor rumah tangga menjadi penyumbang konsumsi terbesar, yakni 34,6% dari total energi nasional [1]. Peralatan rumah seperti AC, kulkas, dan lampu mendominasi penggunaan listrik, dengan rata-rata pengeluaran mencapai Rp 350.000/bulan di wilayah perkotaan [2]. Sayangnya, kesadaran terhadap efisiensi energi masih rendah karena minimnya alat pemantau dan pengelola energi yang terjangkau serta terintegrasi.

Teknologi Internet of Things (IoT) menghadirkan solusi potensial dengan memantau konsumsi energi secara real-time melalui sensor dan aktuator pintar [3]. Namun, volume dan kompleksitas data deret waktu yang dihasilkan perangkat IoT menimbulkan tantangan dalam penyimpanan dan analisis data [4]. Diperlukan sistem yang mampu mengelola data besar dengan karakteristik volatil, musiman, dan mengandung anomali agar tetap relevan dan informatif.

Deep Learning menjadi pendekatan utama untuk membangun model prediktif konsumsi energi yang akurat [5], [6]. Meski begitu, ML masih terbatas dalam menyampaikan informasi prediktif secara kontekstual kepada pengguna awam. Untuk menjembatani celah ini, integrasi Large Language Models (LLMs) mampu menyederhanakan hasil prediksi ke dalam bentuk rekomendasi atau dialog berbasis bahasa alami [7], [8].

Oleh karena itu, integrasi teknologi IoT, ML, dan LLM sangat diperlukan dalam membangun sistem manajemen energi cerdas yang adaptif dan ramah pengguna. IoT menyediakan data, ML menganalisis pola dan prediksi, sedangkan LLM bertindak sebagai antarmuka cerdas yang mempermudah pengguna memahami dan merespons data [9], [10]. Sinergi ini diharapkan mampu menciptakan sistem yang tidak hanya prediktif, namun juga interaktif dan solutif.

1.2 Rumusan Masalah

Masalah yang ingin diselesaikan dalam penelitian ini dirumuskan secara spesifik agar fokus penelitian dapat diarahkan secara tepat. Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana merancang arsitektur perangkat lunak yang scalable dan maintainable untuk mengintegrasikan data real-time dari perangkat IoT, penyimpanan time-series, pemodelan analitik menggunakan deep learning (LSTM), serta interpretasi cerdas melalui LLM dalam satu platform manajemen energi?
2. Bagaimana kinerja protokol komunikasi real-time (WebSocket) dalam menangani aliran data sensor secara responsif dan andal pada sistem multi-platform antara perangkat IoT, backend server, dan antarmuka pengguna web?

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian lebih terarah dan dapat diselesaikan dalam batas waktu serta sumber daya yang tersedia, maka ditetapkan beberapa batasan sebagai berikut:

1. Penelitian difokuskan pada pengembangan arsitektur perangkat lunak untuk integrasi sistem manajemen energi berbasis IoT, tanpa membahas aspek perangkat keras (hardware) secara mendalam.
2. Perangkat IoT yang digunakan dibatasi pada jenis sensor daya listrik (seperti tegangan, arus, daya) dengan frekuensi pengiriman data satu kali dalam dua detik (< 1 Hz).
3. Pemodelan prediksi energi dibatasi pada metode deep learning berbasis LSTM dan tidak membandingkan dengan metode prediktif lainnya (seperti ARIMA atau XGBoost).
4. Model Large Language Model (LLM) yang digunakan dibatasi pada GPT-4 Turbo, dan implementasi dilakukan melalui API tanpa modifikasi internal model.

5. Protokol komunikasi real-time yang dianalisis dibatasi pada WebSocket, tanpa membandingkannya dengan protokol lain seperti MQTT atau HTTP long-polling.
6. Penelitian hanya mencakup backend server dan antarmuka pengguna berbasis web, dan tidak mencakup pengembangan aplikasi mobile.
7. Data konsumsi energi yang digunakan bersumber dari simulasi dan/atau data aktual dalam skala kecil (prototipe rumah/gedung), dan tidak mencerminkan sistem skala industri secara keseluruhan.
8. Evaluasi kinerja sistem tidak mencakup faktor eksternal seperti kestabilan jaringan internet, latensi cloud provider, atau performa perangkat IoT dalam kondisi ekstrem.
9. Lokasi pengujian sistem dibatasi di lingkungan lokal atau laboratorium dan tidak mencakup implementasi pada lokasi geografis yang beragam.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang akan dicapai oleh peneliti dalam penelitiannya adalah :

1. Menghasilkan rancangan arsitektur perangkat lunak yang scalable dan maintainable untuk sistem manajemen energi berbasis IoT, yang mampu mengintegrasikan aliran data real-time dari sensor, penyimpanan data time-series, pemodelan prediksi konsumsi energi dengan LSTM, serta interpretasi data menggunakan Large Language Model (LLM) dalam satu platform yang kohesif.
2. Menguji dan mengevaluasi kinerja sistem yang dirancang, khususnya dalam hal efektivitas komunikasi real-time menggunakan protokol WebSocket, akurasi model prediksi energi berbasis LSTM, serta relevansi dan kelayakan interpretasi serta rekomendasi yang dihasilkan oleh LLM terhadap data historis dan prediktif konsumsi energi.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat baik dari segi teoritis maupun praktis, sebagai berikut:

1. Manfaat Teoritis

- Memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan arsitektur sistem manajemen energi berbasis IoT yang terintegrasi dengan metode prediksi berbasis deep learning (LSTM) dan interpretasi cerdas menggunakan LLM.
- Menjadi referensi untuk pengembangan sistem serupa dalam penelitian lanjutan yang menggabungkan teknologi AI (ML dan LLM) dalam konteks pengelolaan energi bangunan.
- Menambah literatur terkait pemanfaatan protokol komunikasi WebSocket dalam sistem IoT real-time yang bersifat multi-platform.

2. Manfaat Praktis

- Membantu pengelola bangunan (seperti perumahan, gedung sewa, atau fasilitas publik) dalam memantau, memprediksi, dan mengoptimalkan konsumsi energi secara cerdas dan efisien.
- Memberikan solusi yang dapat langsung diimplementasikan untuk mendukung agenda efisiensi energi dan pengurangan emisi karbon melalui pengambilan keputusan berbasis data yang lebih cepat dan informatif.
- Menyediakan sistem yang siap dikembangkan lebih lanjut untuk integrasi dengan perangkat energi terbarukan maupun sistem otomasi bangunan lainnya.

1.6 Sistematika Penulisan

BAB I PENDAHULUAN, bab ini menjelaskan latar belakang permasalahan, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, ruang lingkup, serta sistematika penulisan yang digunakan dalam penyusunan skripsi.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA, bab ini memuat teori-teori yang mendasari penelitian, kajian literatur terkait sistem manajemen energi berbasis IoT, model prediksi Long Short-Term Memory (LSTM), serta peran *Large Language Models* (GPT-4 Turbo) dalam pengambilan keputusan berbasis bahasa alami. Selain itu, disajikan pula kerangka teori dan kerangka berpikir yang menjadi dasar dalam

penelitian ini.

BAB III METODE PENELITIAN, bab ini menjelaskan jenis dan pendekatan penelitian, alat dan bahan yang digunakan, tahapan pengembangan sistem, metode pengumpulan serta analisis data, dan perancangan arsitektur sistem.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN, bab ini menyajikan hasil implementasi dan pengujian sistem, visualisasi prediksi konsumsi energi, evaluasi kinerja model LSTM dan GPT-4 Turbo, serta pembahasan terhadap hasil yang diperoleh dibandingkan dengan studi terdahulu.

BAB V PENUTUP, berisi kesimpulan dari hasil penelitian serta saran untuk pengembangan lebih lanjut, baik dari sisi teknis maupun implementasi dalam skala yang lebih luas.

